

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

TVORBA 3D MODELU HRADU KUMBURK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN ANDRLE

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

TVORBA 3D MODELU HRADU KUMBURK CREATION OF 3D MODEL OF CASTLE KUMBURK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

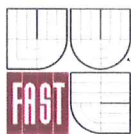
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN ANDRLE

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2014



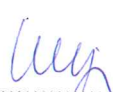
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Andrle Jan
Název	Tvorba 3D modelu hradu Kumburk
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013


.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Hanzl V.: Fotogrammetrie, Modul 01, Teoretické základy fotogrammetrie, Fakulta stavební VUT v Brně, 2006, 101 str.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Zaměřte vlíčovací a kontrolní body na hradě Kumburk. Nasnímkujte jednotlivé části hradu, vytvořte v programu Autodesk 123D Catch otexturované 3D modely částí hradu.

V programu Blender upravte hustotu bodů 3D modelů.

Upravené 3D modely spojte do jednoho celku. Testujte dosaženou přesnost vytvořeného 3D modelu prostřednictvím zaměřených kontrolních bodů. Upravte texturu 3D modelu v oblastech spojů pomocí programu Cinema 4D.

Vytvořte vhodné výstupy v podobě renderovaných obrázků, videí apod.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je tvorba dokumentace zříceniny hradu Kumburk formou digitálního 3D modelu fotogrammetrickou metodou s využitím optické korelace. Textová část práce popisuje způsob budování bodového pole, zaměření vřícovacích bodů a fotografické práce. Dále se text práce věnuje tvorbě samotného 3D modelu a testování jeho přesnosti. Přílohy práce obsahují dokumentaci bodového pole, testování přesnosti modelu a vytvořený 3D model v různých formátech.

Klíčová slova

hrad, body, 3D model, Cinema 4D

Abstract

The subject of this thesis is the creation of documentation castle ruins Kumburk form of digital 3D model by photogrammetrical method using optical correlation. Text section describes the way of control establishing, measuring control points and photographic work. Furthermore, the text is dedicated to creating the 3D model itself, and testing its accuracy. Appendix contains the control documentation, testing the accuracy of the model and the 3D model in various formats.

Keywords

castle, points, 3D model, Cinema 4D

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Andrlé *Tvorba 3D modelu hradu Kumburk*. Brno, 2014. 51 s., 26 s. příl.

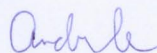
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.

Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2014



.....
podpis autora
Bc. Jan Andrlé

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu této práce doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc. za odborné vedení a rady. Vedení obce Syřenov a členům Sdružení pro záchranu hradu Kumburku velmi děkuji za ochotu a porozumění, se kterým mi umožnili měření tohoto zajímavého objektu. Dále děkuji své rodině a přítelkyni za pomoc při měření a za podporu během celého studia.

Obsah#

1. ÚVOD	10
2. SEZNÁMENÍ S OBJEKTEM	12
2.1 Lokalizace	12
2.2 Historie objektu	12
2.3 Popis objektu	13
3. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE	16
3.1 Testování softwaru	16
3.1.1 Autodesk 123D Catch	16
3.1.2 Blender 2.67	18
3.13 Cinema 4D R15 Studio	19
3.2 Získávání podkladů a povolení	20
3.3 Rekognoskace stávajícího bodového pole	21
4. MĚŘICKÉ PRÁCE	23
4.1 Použité přístroje	23
4.1.1 Geodetické přístrojové vybavení	23
4.1.2 Použitý digitální fotoaparát	23
4.2 Vybudování bodového pole	24
4.3 Zaměření podrobných bodů	26
4.4 Fotografické práce	26
5. VÝPOČETNÍ A DOKUMENTAČNÍ PRÁCE	28
5.1 Výpočetní software Groma v.8	28
5.2 Microstation PowerDraft V8i	28
5.3 Určení souřadnic bodového pole	28
5.4 Určení souřadnic podrobných bodů	31
5.5 Dokumentace bodového pole	31
6. TVORBA A VYHODNOCENÍ 3D MODELU	32
6.1 Použitý hardware	32
6.2 Tvorba dílčích 3D modelů	32
6.3 Tvorba celkového 3D modelu	34
6.4 Testování přesnosti výsledného modelu	37
7. HLAVNÍ VÝSTUPY PRÁCE	40
7.1 Formát .c4d	41
7.2 Formát .obj	41
7.3 Formát .3ds	42
7.4 Formát .dxf	42

7.5 Formát .pdf	42
7.6 Sketchfab	42
7.7 Renderované obrázky a videa	43
8. ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ:	46
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:	48
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ:	49
SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK:	49
SEZNAM PŘÍLOH:	50

1. ÚVOD

Tato diplomová práce vznikla na základě mého osobního zájmu o historické stavby. Z původní myšlenky zdokumentovat zajímavou zříceninu hradu Kumburk v blízkosti mého bydliště vznikl nápad vytvořit jeho digitální 3D model. Ten je na rozdíl od geodetického zaměření schopen mnohem efektivněji vystihnout tak složitou a členitou stavbu, jakou je zřícenina hradu a komplexně tak zdokumentovat její současný stav. Digitální prostorový model je navíc atraktivní výstup umožňující pohled z nové perspektivy i pro ty, kteří objekt dobře znají. Pro tvorbu 3D modelu byl zvolen program Autodesk 123D Catch, který na základě metody optické korelace vytváří ze série vhodně pořízených digitálních snímků podrobný texturovaný 3D model snímkaného objektu. Přes všechny klady tohoto volně šiřitelného programu však není možné tímto způsobem naráz vytvořit 3D model celého hradu. Bylo proto nutné najít vhodný program a postup pro sloučení více 3D modelů různých částí zříceniny hradu do jednoho celku. Tomuto požadavku nakonec vyhověly dva modelovací programy, a to program Blender a Cinema 4D. Ze snahy použít nekomerční, studentské, nebo demo verze programů nakonec vykrytalizoval vedlejší cíl této práce, vytvořit rozsáhlý kvalitní a podrobný 3D model bez použití drahých placených softwarů a vybavení typu 3D scanner. Cílem této práce je zároveň vytvořit dílo s možností dalšího využití a snadno přístupné laické i odborné veřejnosti.



Obr.1.1: Pohled na jádro hradu Kumburk. [1]

Sestavení jednotlivých částí do celku a testování přesnosti výsledného modelu bylo provedeno na základě prostorového zaměření vlíčovacích bodů totální stanicí. Geodetické zaměření proběhlo na konci června roku 2013. Měření bylo za pomoci slečny Bc. Hany Políkové přístrojovým vybavením zapůjčeným Ústavem geodézie na Fakultě stavební VUT v Brně. Nasnímávání objektu a následné zpracování pak probíhalo převážně v letních měsících roku 2013. Přípravné práce však začaly již o rok dříve, protože bylo nutné otestovat a seznámit se s vlastnostmi a funkcemi všech použitých programů.

2. SEZNÁMENÍ S OBJEKTEM

2.1 Lokalizace

Zřícenina hradu Kumburk se nachází v severovýchodních Čechách, v Libereckém kraji, okres Semily na východním okraji Českého ráje. Hrad byl vystavěn ve výšce 642 m n. m. na vysoké čedičové homoly v Jičínské pahorkatině [1]. Leží přibližně 5 km západně od města Nová Paka a asi 1300 m jihovýchodně od obce Syřenov, pod jejíž katastrální území zřícenina v současné době patří a která je jejím aktuálním majitelem.



Obr.2.1: Vyznačení polohy zříceniny hradu na slepé mapě ČR

2.2 Historie objektu

Hrad byl založen pravděpodobně na počátku 14. století šlechtickým rodem Markvarticů. Od 15. století hrad často střídal majitele. V letech 1437 – 1456 změnil Hynek Krušina z Lichtenburka výrazně podobu hradu výstavbou vnějšího dělostřeleckého opevnění. V 16. století byl hrad v držení Trčků z Lípy. [2]

Po roce 1607 již není hrad využíván jako obydlí majitele panství. Po třicetileté válce byl hrad zkonfiskován a ke svému majetku ho připojil Albrecht z Valdštejna. Roku 1658 byl hrad z rozhodnutí císaře Ferdinanda III. připojen na seznam hradů určených

k demolici, aby nemohly sloužit jako opěrný bod nepřátel monarchie a jeho opevnění proto bylo pobořeno. Již od 19. století se stala zřícenina hradu Kumburk vyhledávaným turistickým místem pro svůj romantický vzhled a krásný rozhled do kraje. Navštívil ho např. Karel Hynek Mácha, který má od roku 1941 na hradě pamětní desku. V 18. a 19. století hrad vlastnil šlechtický rod Trauttmansdorffů, který společně s Klubem československých turistů prováděl první zajišťovací práce na zřícenině hradu. [1]



Obr.2.2: Opravy hradu KČST v roce 1940. [1]

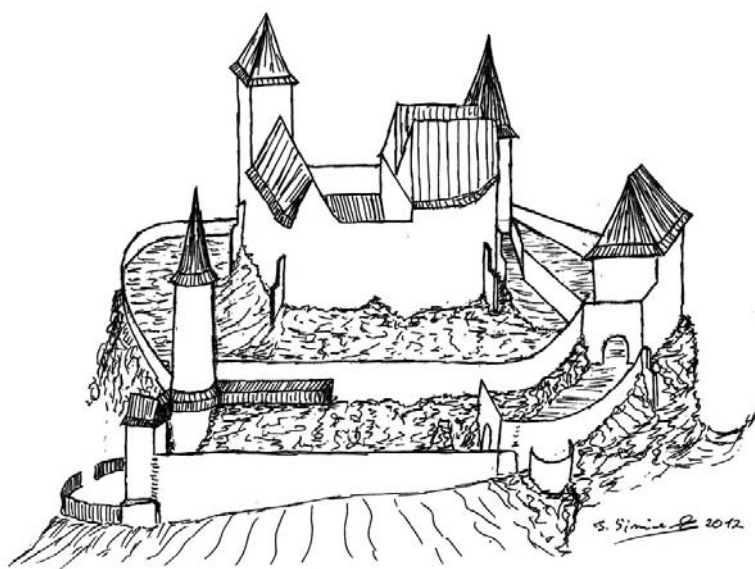
Od roku 1937 se snažil KČST získat hrad do vlastního držení, aby mohl provádět nutné statické zabezpečovací práce. Události roku 1938, ale vše zkomplikovaly tak, že KČST hrad získal do vlastnictví až v roce 1946. Již v roce 1949 o něj ale přišel, když ho musel převést na Československou obec sokolskou. Ta musela záhy v roce 1952 nabídnout státu veškerý svůj majetek. V roce 1953 se proto stal majitelem hradu KNV v Liberci. Od roku 1992 je hrad spravován Sdružením pro záchranu hradu Kumburku, jenž se svou činností snaží navázat na činnost KČST. Současný majitel hradu, přílehlá obec Syřenov, vlastní hrad od roku 1999. [3]

2.3 Popis objektu

Hrad Kumburk byl vystavěn na počátku 14. století na výrazném homolovitém kopci na čedičovém suku. Terén hradního kopce předurčoval spirálovité vedení přístupové

komunikace, které značně ovlivnilo podobu hradu. Jádru hradu zaujalo vrchol kopce, které patrně v první fázi stavby mělo podobu hradu s plášťovou zdí. V druhé polovině 14. století byl v jádru hradu ze štuk vystavěn nový palác, k němuž byla okolo roku 1400 připojena hranolová obytná věž, která tvoří dodnes dominantu hradu. [2]

Ve druhé polovině 14. století bylo jádro obeháno hradbou. Její vstupní bránu kryla okrouhlá věž (tzv. „Panenská“) s flankovací schopností. Na severozápadní straně byla tato hradba zpevněna čtverhrannou, dovnitř otevřenou baštou (tzv. „Studniční věž“) s přilehlými hospodářskými a provozními budovami. Ve stejné fázi byl kolem hradby do skály vylámán příkop a za ním navršen val. [1]



Obr.2.3: Možná podoba hradu po roce 1370 podle Tomáše Šimůnka. [1]



Obr.2.4: Hmotová rekonstrukce hradu v jeho vrcholné podobě v 15. století. [4]

V 15. století bylo na koruně valu vystavěno moderní dělostřelecké opevnění s flankovací schopností. Poslední okruh opevnění byl tvořen relativně slabou hradbou zpevněnou šesti, dovnitř otevřenými, okrouhlými baštami. Nový vstup do hradu procházel kulisovou branou, ke které byla připojena budova strážnice. [2]

Přestože byl hrad roku 1658 na rozkaz císaře pobořen a následně dlouhá léta sloužil obyvatelům podhradí jako zdroj stavebního materiálu, je na hradě stále co obdivovat. Současná podoba hradu tvoří zbytky velkorysého opevnění z 50. let 15. století. Přes nepřízeň osudu se na hradě dochovaly v torzovité podobě významné zbytky věží, bašt, čtyř hradních bran, hradeb a sklepení, tvořící zajímavou hradní zříceninu a dominantu okolí. Díky péči Sdružení pro záchranu hradu Kumburku je hradní zřícenina udržována a je vyvíjena činnost na její stabilizaci a na zastavení další degradace zbylého zdiva. [3]

3. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

3.1 Testování softwaru

Před započítím veškerých prací bylo nutné vyzkoušet schopnosti a funkce programu Autodesk 123D Catch, který ze série digitálních fotografických snímků vytváří texturovaný 3D model. Bylo proto nutné zjistit např. jak velké a členité území je možno vytvořit jedním modelem, za jakých podmínek je model ještě možné vytvořit a jak dosáhnout nejlepší kvality modelu. Dále bylo nutné najít vhodný software schopný načíst vytvořené modely, dát jim správný rozměr, orientaci, polohu a upravit jejich strukturu a texturu. Těmto požadavkům vyhověly grafické programy Blender a Cinema 4D.

3.1.1 Autodesk 123D Catch

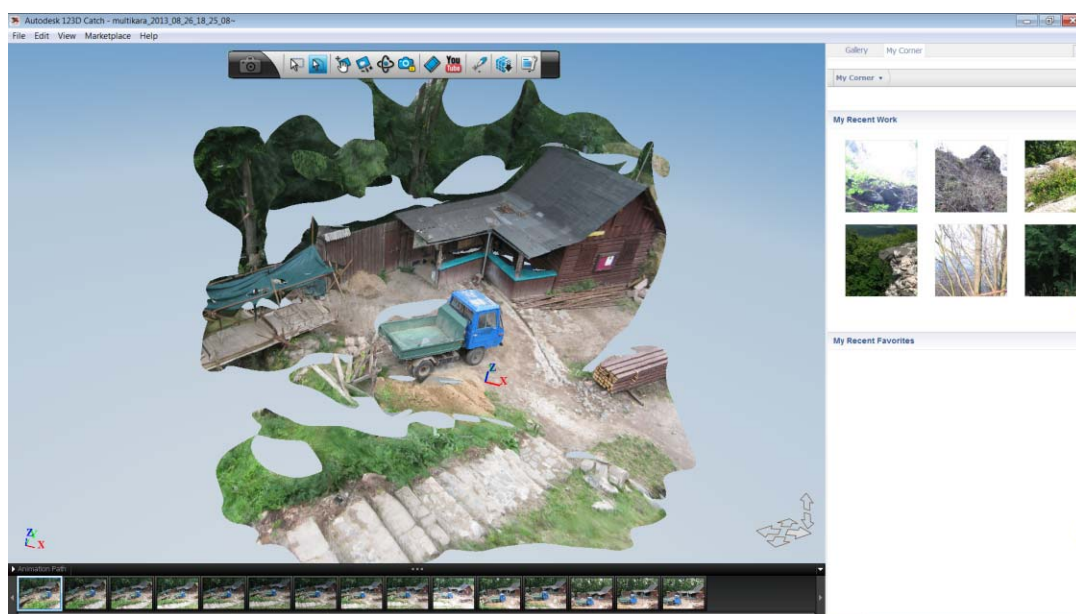
Tento program je jedním z nástrojů bezplatné série 123D od firmy Autodesk. Je to cloudová aplikace, která na vhodně nasnímkované sérii digitálních snímků vyhledá metodou optické korelace odpovídající si body na snímcích a vypočítá digitální 3D model s realistickou texturou. Existuje ve formě PC programu, webové online aplikace i mobilní aplikace. Při použití programu ve všech jeho verzích je nutné mít připojení k internetu. Program pracuje jako cloudová aplikace, což znamená, že data odesílá na vzdálený server, kde probíhá výpočet. [5]

Pro dosažení úspěšného vytvoření modelu, je potřeba dodržet základní pravidla při pořizování snímků. Místa na objektu by měla být zachycena na více snímcích. Mezi snímky by měl být dodržen dostatečný překryt. Osy záběru snímků by měly konvergovat ideálně pod úhlem 5°-10°. Počet snímků je dán rozměry a členitostí fotografovaného objektu. Objekt nesmí být v pohybu, protože je pro výpočet použito i okolí objektu. Pro snímkování jsou nevhodné lesklé a průhledné objekty, nebo nevýrazné homogenní povrchy. [6]

Pořizované snímky by měli mít podobnou expozici, proto je dobré snímky pořizovat při konstantním, měkkém osvětlení, ideálně při stálé oblačnosti, kdy slunce trvale svítí přes mraky. Tím je odstraněn i problém se stíny na modelu, které se komplikovaně odstraňují při postprocesingu. Není vhodné používat blesk z důvodu

vzniku různých světelných podmínek na snímcích. Na hradě Kumburk se nalézají i sklepní prostory s minimem světla. Bylo proto nutné vyzkoušet, jestli je reálné vytvořit modely částí sklepení nuceně snímkaných s bleskem. Tento test dopadl pozitivně, program zvládl zpracovat i snímky pořízené ve tmě výhradně s bleskem. Nevýhodou je rozdílnost odstínů textur při různých vzdálenostech blesku od snímkaného objektu. Tyto světelné rozdíly je následně nutné odstraňovat při úpravě textur. Kvalita modelu z velké míry závisí na tom, jak je daný objekt přístupný a odkud ho lze nasnímkovat. Z tohoto důvodu bylo nutné vyzkoušet hlavně snímkování členitých a špatně přístupných částí hradu.

Při pořizování digitálních snímků pro zpracování programem Autodesk 123D Catch není nutné používat drahé fotografické přístroje nejlepší kvality, protože již od rozlišení 3.4 Mpx se hustota a kvalita trojúhelníkové sítě viditelně nezlepšuje. To je způsobeno tím, že program při výpočtu převzorkuje snímky na nižší rozlišení. Vyšší rozlišení snímku je ale výhodou při vyhodnocování bodů a hran na snímcích. Je proto výhodnější již před nahráním snímků vhodným způsobem snížit jejich rozlišení. Tím lze urychlit nahrání snímků na server, při kterém občas dochází k zamrznutí a jiným problémům v přenosu dat. [7]



Obr.3.1: Pracovní prostředí programu Autodesk 123D Catch

Pro vytvoření 3D modelu stačí vhodným způsobem nasnímkovat zobrazovaný objekt, vybrat v programu digitální snímky pro výpočet a zvolit zda počkat až se model spočítá, nebo si nechat výsledek zaslat na email. Výslednou kvalitu můžeme ovlivnit zvolením jedné ze tří úrovní kvality modelu. Úrovně se liší hustotou trojúhelníkové sítě,

rozlišením textur a velikostí souboru. Již jednou spočítaný model lze přepočítat na vyšší, nebo nižší úroveň. Výsledkem je reálně vypadající prostorový model, který lze přímo v programu prostorově prohlížet, ořezávat a vyhodnocovat jeho hrany, či body. Pomocí bodů, jejichž poloha na modelu je určena prostřednictvím původních snímků, lze modelu udávat orientaci os, nebo zadáním rozměru mezi body měřítko objektu. V programu lze vytvořit průletové video, nebo výsledný model exportovat do jednoho z podporovaných formátů. Na výběr je formát .3dp, .obj, .las, .rzi, .fbx, .ipm, nebo .dwg. Pro export k následné úpravě a spojování modelů do celku byl vybrán formát .obj, který podporuje většina modelovacích programů a ke kterému je vygenerován i textový soubor s příponou .mtl obsahující informace o texturách. Programem vygenerovaná textura je automaticky rozdělena do několika souborů ve formátu .jpg o velikosti 4096x4096 pixelů. Počet souborů textur se odvíjí od velikosti modelu a kvality jeho textury. Program lze uplatnit v obvyklých případech použití blízké fotogrammetrie, jako je stavebnictví, památková péče, archeologie, či kriminalistika [8].

3.1.2 Blender 2.67

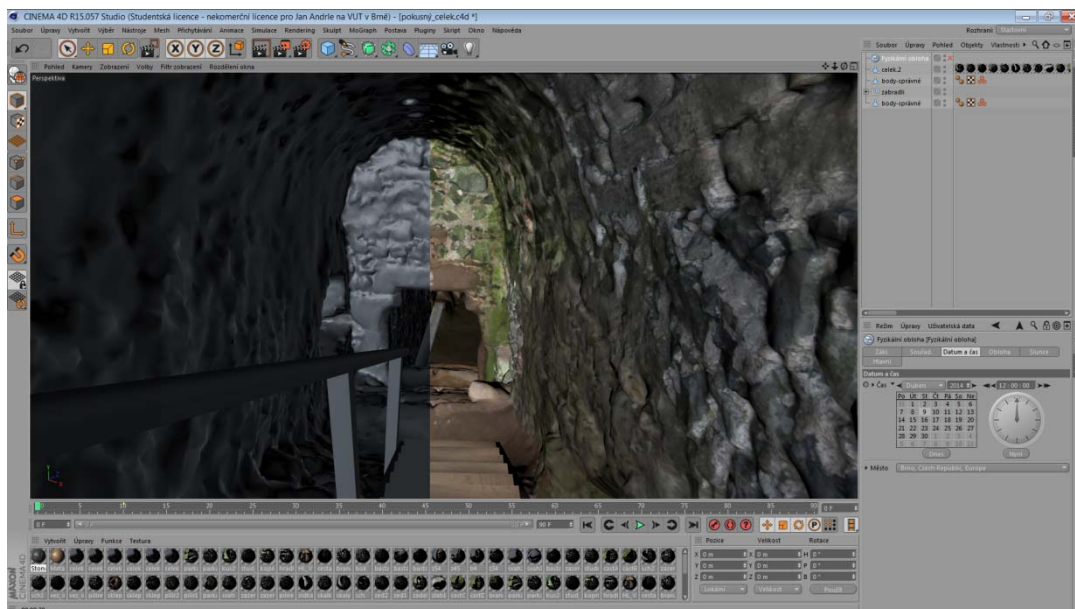
Program Blender je free open source modelovací a animační program pro 3D grafiku. Je dostupný na mnoha platformách a operačních systémech. Rozhraní tohoto softwaru používá knihovny Open GL. Blender, který je vyvíjen dobrovolníky z celého světa, zvládá na vysoké úrovni běžné funkce při modelování, animaci, simulaci, vizualizaci, nebo tvorbě videí a her srovnatelně s podobnými komerčními programy. [9]

Pro možné použití programu bylo nutné zvládnout do něj importovat souřadnice naměřených vřícovacích bodů, importovat texturované 3D modely a prostřednictvím vřícovacích bodů jim dát správné měřítko, polohu a orientaci. Dále je nutné mezi jednotlivými modely korigovat modelaci spojů a upravit textury. Pro prezentaci výsledného modelu je dobré zvládnout rendering a tvorbu průletů. Seznamování s programem Blender je pro začátečníka složité z důvodu neintuitivního, nepřiliš uživatelsky jednoduchého ovládání. V programu lze snadno zvládnout import modelu s texturami, jeho manipulaci a editaci. Velmi obtížný je ale import souřadnic, který je nutno řešit pomocným scriptem v programovacím jazyku Python. Modelaci spojů je možné efektivně utvářet v Editačním a Řezbářském módu, úprava textur se provádí v módu Kresba na texturu.

Vzhledem k nepřehlednému, občas zbytečně složitému ovládání a komplikovanou prací se souřadnicemi, jsem se nakonec rozhodl tento program pro spojení 3D modelů do celku nepoužít. Přesto byl ale program Blender při zpracování této práce částečně použit. Na rozdíl od použitého programu Cinema 4D totiž zvládá funkci polygonové redukce (zředění hustoty trojúhelníkové sítě) bez ztráty UV souřadnic textur na objektu.

3.13 Cinema 4D R15 Studio

Grafický software Cinema 4D Studio představuje kompletní balík produktů řady Cinema 4D firmy Maxon. Tato firma sídlící v Německu si za posledních 25 let vybudovala na poli softwarů pro 3D grafiku silné postavení. Její programy jsou komerční, ale pro své kvality je hojně používají nadšenci i profesionální modeláři, návrháři, designéři a animátoři po celém světě. Program Cinema 4D představuje velmi pokročilé a výkonné řešení pro digitální modelování a sculpting, práci s materiály a texturami, tvorbu scén, animace a vizualizace. Přes vysoké kvality programu a široký záběr jeho funkcí je program možno rozšiřovat o pluginy (doplňky), které dále zvyšují funkčnost a schopnosti programu. [10]



Obr.3.2: Ukázka uživatelského prostředí programu Cinema 4D.

Pro testování programu byla získána studentská licence, kterou firma Maxon nabízí po předložení potvrzení o studiu studentům a učitelům pro nekomerční využití zdarma na 18 měsíců. Přednostmi Cinemy 4D není jenom vysoký výkon a stabilita, efektivní

a snadno ovladatelné nástroje, ale také intuitivní a flexibilní uživatelské prostředí. Program navíc obsahuje i českou lokalizaci. [10]

Na spojení několika 3D modelů do jediného objektu byly úspěšně vyzkoušeny všechny potřebné funkce. Vzhledem ke schopnostem programu importu i export 2D/3D grafických dat, není problém v Cinema 4D otevřít soubor s příponou .obj a umožnit tak další práci s modelem i jeho texturami. Stejně tak není problém v programu nahrát, nebo exportovat body v souřadnicích. Souřadnice v pořadí XYZ lze nahrát z textového souboru ve formátu dat ASCII. Základní manipulaci, editaci i modelaci objektů zvládne poměrně rychle i začátečník. Složitější je práce s materiály a úpravou textur, ale i tento krok byl nakonec v Cinemě 4D zvládnut. Díky řadě návodů a tutoriálů na internetu byly potřebné funkce pro spojení více modelů v jeden celek ovládnuty, včetně základů vizualizačních nástrojů, jako jsou průletová videa a rendering scén.

Na základě práce na zkušebním spojování byl program Cinema 4D vybrán jako vhodný nástroj pro potřeby grafického zpracování tohoto projektu. Zároveň bylo ale nutno vyhodnotit slabiny a komplikace, které byly při tvorbě zjištěny. Především to byla vysoká hardwarová náročnost způsobená zbytečně vysokou hustotou trojúhelníkové sítě modelu a vysokým rozlišením velkého počtu zobrazovaných textur. Z důvodu velkého rozsahu plánovaného modelu bylo proto rozhodnuto pro nutnost polygonové redukce modelů ještě před jejich spojením. Dále bylo nutné nahradit nevyhovující hardwarové vybavení novým stolním počítačem, jehož parametry jsou uzpůsobeny práci v tomto programu. Při testování byla objevena ještě jedna slabina programu a to export výsledného modelu. Ten je sice podporován v řadě běžných formátů, bohužel ale neumožňuje export ve formátu .obj včetně textur, ale pouze „holého“ modelu. Soubor s příponou .mtl obsahující informace o připojených texturách není programem generován. Tento nedostatek, který by člověk u tak vyspělého nástroje nečekal, lze odstranit pluginem Riptide. Tento plugin zajišťuje kvalitní import a export modelů s texturami ve formátu .obj [11].

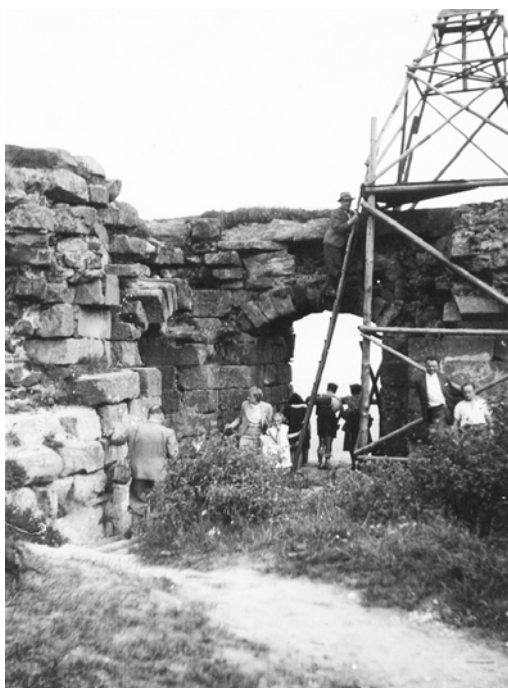
3.2 Získávání podkladů a povolení

Před započítím měřických prací byl osloven majitel objektu obec Syřenov a Sdružení pro záchranu hradu Kumburku, které na hradě provádí záchranné a udržovací práce, historický průzkum a vyvíjí kulturní a osvětovou činnost. Od obou výše jmenovaných institucí byl získán souhlas k provedení stabilizačních a měřických prací

na hradě. Od Sdružení pro záchranu hradu Kumburku byly získány informace o poloze a souřadnicích stávajícího bodového pole na hradě a kontakt na jeho zhotovitele Ing. Běleckého. Od něho byly získány protokoly o výpočtu souřadnic bodového pole.

3.3 Rekognoskace stávajícího bodového pole

Na počátku června roku 2013 byla provedena rekognoskace stávajícího bodového pole. V samém centru hradu Kumburk, na nejvyšším bodě hradu, je od roku 1936 umístěn trigonometrický bod č. 31 na zbytcích zdiva Velké věže. Poloha bodu č. 31 je jistěna dvěma zajišťovacími body nalézajícími se rovněž v jádru hradu. Všechny tři body jsou stabilizovány dobře viditelnými žulovými mezníky nalezenými dle místopisů umístěných na webovém portálu Datábáze bodových polí provozované ČÚZK [12].



Obr.3.3: Historická fotografie z roku 1939 s ještě existující signalizací trig. bodu č. 31. [1]

Dle přehledného náčrtu bodového pole byla nalezena většina uváděných stávajících pomocných bodů. Bodové pole vybudované Ing. Běleckým bylo stabilizováno převážně nástrelnými hřeby, v menší míře také roxory. V terénu nalezené body je možné rozdělit na dva druhy. První jsou body stabilizované tak, aby na nich mohl být postaven stativ s geodetickým přístrojem. Ty jsou číslovány v číselné řadě 4000. Druhou skupinou jsou body, na nichž nelze přístroj postavit a které mohou sloužit pouze jako orientace. Body

druhého typu jsou označovány v číselné řadě 5000. Z původních 19 bodů Ing. Běleckého bylo nakonec použito 13 bodů jako základ pro síť bodů potřebných pro zaměření vlícovacích a kontrolních bodů na celém objektu. Číslování bodů bylo zachováno, jejich původní souřadnice však byly použity pouze jako přibližné souřadnice pro vyrovnání celé nově vybudované sítě. Souřadnice bodů byly přeurčeny pro dosažení vyšší homogenosti nové sítě. Síť 13 vybraných bodů z původního bodového pole bylo nutné pro pokrytí rozsáhlého a členitého objektu hradu doplnit 26 novými pomocnými body. Pro plánované nové pomocné body bylo nutno vytipovat vhodná místa, aby z nich bylo možno zaměřit všechny potřebné body na objektu a zároveň byly ze stanoviska viditelné alespoň dvě orientace.

4. MĚŘICKÉ PRÁCE

Pro určení správného měřítka, návaznosti, polohy a orientace v prostoru dílčích 3D modelů bylo nutné vybudovat a určit výchozí síť geodetických bodů. Z této sítě pomocných bodů pak bylo nutné zaměřit vřícovací a kontrolní body.

4.1 Použité přístroje

4.1.1 Geodetické přístrojové vybavení

Pro měřické práce byla použita totální stanice, odrazný hranol na výtyčce a stativ. Všechno měřické vybavení bylo zapůjčeno Ústavem geodézie na Fakultě stavební VUT v Brně.

Při volbě totální stanice byly kladeny požadavky na její dobrou úhlovou a délkovou přesnost a na schopnost bezhranolového měření délek. Na základě těchto kritérií byla z nabídky přístrojového vybavení Ústavu Geodézie zvolena totální stanice TOPCON GPT 3003N.

Tato totální stanice je vybavena objektivem s třicetinásobným zvětšením, směrovou přesností 1,0 mgon a přesností měření délek na hranol $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$. V bezhranolovém režimu lze měřit délky na vzdálenost 1,5 m – 250 m v závislosti na oslunění a druhu povrchu. Přesnost bezhranolově měřených délek do 25 m je $\pm 10 \text{ mm}$, nad 25 m je to $\pm 5 \text{ mm}$. [13]

4.1.2 Použitý digitální fotoaparát

Pořizování digitálních snímků pro vytváření 3D modelů bylo prováděno vlastním digitálním fotoaparátem CANON PowerShot A720 iS. Tento kompaktní digitální fotoaparát je vybaven 1/2,5" CCD snímačem s rozlišením 8 Mpx, vestavěným bleskem a 2,5" pevným křemíkovým displejem. Objektiv je osazen velmi dobrou optikou s šestinásobným zoomem a optickým stabilizátorem obrazu. K optickému zoomu je možné použít ještě čtyřnásobný digitální zoom. Ohnisková vzdálenost objektivu je 35 mm – 210 mm. Data jsou ukládána na SD kartu skrytou v těle fotoaparátu. [14]



Obr.4.1: Digitální fotoaparát CANON PowerShot A720 iS. [14]

4.2 Vybudování bodového pole

Na základě rekognoskace již existujícího bodového pole bylo na vytipovaných místech stabilizováno 26 nových pomocných bodů. Tyto body zahustily stávající síť tak, aby bylo možné zaměřit vřícovací a kontrolní body a zaměřit podrobné body tam, kde nebylo možné použít fotogrammetricky vytvořeného 3D modelu. Všechny nově vytvořené pomocné body byly koncipovány tak, aby na nich bylo možné měřit totální stanicí a splňovaly co nejlépe podmínku provázanosti sítě pomocných bodů. Poloha bodů proto byla volena tak, aby z nich bylo vidět na co nejvíce dalších pomocných bodů, minimálně však alespoň na dva body. Při stabilizaci byla snaha o dosažení stability a trvalosti bodů. Bohužel vzhledem k okolnostem byla většina bodů stabilizována do trávníku, nebo jiného málo stabilního podkladu. Ve většině případů proto byly pomocné body stabilizované dřevěným kolíkem s vyznačeným křížkem, v jehož středu je zatlučen malý hřebík. Pokud to bylo možné, tak byl bod stabilizován nástředním hřebem, nebo roxorem. Ve dvou případech nebylo možno použít trvalé stabilizace, proto byly pouze dočasně vyznačeny barvou. Číslování nově zbudovaných pomocných bodů bylo zvoleno 6001-6026. Poloha bodů byla vyznačená do přehledného náčrtu bodového pole. Pro usnadnění jejich pozdější lokalizace byly pořízeny orientační místopisné náčrtky nejbližšího okolí bodů orientované

podle buzoly k severu. Ke každému bodu byly pásmem naměřeny alespoň tři oměrné míry. Tyto informace byly použity k vytvoření geodetických údajů o bodech.

Pro určení polohových souřadnic sítě pomocných bodů byla vzhledem k hustotě bodů a jejich dobré provázanosti zvolena metoda plošné sítě. Tato metoda poskytuje přesné a homogenní určení souřadnic sítě. Na stanoviscích bylo provedeno obousměrné úhlové a délkové měření totální stanicí na co nejvíce viditelných bodů sítě. Pokud nebylo možné provést délkové měření, vždy byla snaha alespoň o zaměření úhlové. Tím bylo docíleno velkého počtu nadbytečných měření pro vyrovnání Metodou nejmenších čtverců. Na vysoko umístěných bodech s dobrým rozhledem do kraje bylo zaměřeno i větší množství vzdálených bodů pro dobrou orientaci sítě. Všechna měření pro určování plošné sítě byla provedena ve dvou polohách dalekohledu pro odstranění základních přístrojových chyb. Zaměřování historických památek je specifická měřická disciplína nepodléhající žádnému povinnému omezujícímu předpisu. Přesto byly při měřických činnostech dodržovány základní zásady měření dle Návodu pro obnovu katastrálního operátu, např. dodržení alespoň dvou orientací na stanovisku [15].



Obr.4.2: Geodetické měření na zbytcích jedné z hradních věží.

Výškové měření vychází z výšek již existujícího bodového pole a bylo prováděno současně s polohovým měřením sítě. Pro výškové vyrovnání sítě Metodou nejmenších čtverců byly obousměrně trigonometricky určeny převýšení mezi jednotlivými body.

4.3 Zaměření podrobných bodů

Zaměření podrobných bodů probíhalo současně s měřením v plošné síti polární metodou s trigonometrickým určováním výšek. Podrobné body lze rozdělit na tři kategorie.

První kategorií jsou body vlíčovací, představující charakteristické body objektů hradní zříceniny. Tyto body jsou důležité pro správné umístění 3D modelu v prostoru a jeho správný rozměr. Výběr těchto bodů byl zkomplikován nejednoznačností některých částí stavby, kde absence ostrých hran, či vrcholů kamenných zdí zříceniny značně komplikovala situaci. Proto byl měřen nadbytečný počet vlíčovacích bodů, zajišťující přesné usazení modelu v prostoru. Vlícovací body na objektu byly měřeny bezhranovým režimem dálkoměru, při měření místa styku stavby s terénem byl použit odrazný hranol na výtyčce.

Druhou kategorií jsou body kontrolní. Kontrolní body jsou body vlíčovací, které svou jednoznačností vyhovují pro analýzu přesnosti výsledného modelu. Tyto body tedy současně plní funkci vlíčovacích bodů i bodů určených pro testování přesnosti.

Třetí kategorií jsou body, které doplňují informaci o průběhu terénu, nebo povrchu objektu v místech, kde nemohla být použita fotogrammetrická metoda. Především se jedná o zalesněné části hradního kopce, nebo místa na objektu, která nemohla být nasnímkována.

Celkem bylo zaměřeno 3484 podrobných bodů.

4.4 Fotografické práce

Digitální fotografické snímky nutné pro fotogrammetrické vytvoření 3D modelů byly nasnímkovány částečně již v létě roku 2012 při testování schopností softwaru, převážně pak ale v létě následujícího roku. Z důvodu silného zastínění vegetací některých částí hradu bylo nutné kritické části nasnímkovat na jaře roku 2013 ještě před olistěním stromů a keřů. Poslední snímky byly pořízeny až v lednu roku 2014 po skončení archeologického průzkumu Studniční věže.

Při pořizování digitálních snímků byla snaha o dosažení co nejvyšší ostrosti, nízkého šumu a pokud možno stejného osvětlení. Proto bylo fotografováno hlavně při zatažené obloze, kdy je měkké konstantní světlo. Zatažená obloha navíc způsobuje

absenci stínů, které by ve výsledném modelu působily rušivě, nebo musely být pracně dodatečně odstraňovány.

Série fotografií byly pořizovány tak, aby výsledný model pokrýval co největší část tvořené oblasti a současně dostatečně zachycoval všechna zákoutí objektu v dobré kvalitě. Z důvodu složitosti objektů a jejich často špatné přístupnosti bylo většinou nutné objekty dělit na více částí. Pro pořízení všech potřebných částí nutných pro vytvoření kompletního 3D modelu hradu Kumburk, bylo nasnímkováno okolo devíti tisíc snímků. Některé části bylo nutné pro dosažení lepších výsledků fotit opakovaně.

5. VÝPOČETNÍ A DOKUMENTAČNÍ PRÁCE

5.1 Výpočetní software Groma v.8

Program Groma je geodetický výpočetní software pracující v prostředí MS Windows. Je určen ke zpracování měřických dat a provádění geodetických výpočtů. Výsledky výpočtů lze zobrazovat a ukládat ve výpočetních protokolech včetně kontrolní kresby. Program dovede dávkově i jednotlivě počítat s daty získanými ze všech běžně používaných formátů záznamu měřených dat. [16]

V programu Groma bylo provedeno veškeré zpracování měřických dat a výpočty souřadnic. Z tohoto programu proto pochází rovněž protokoly o výpočtech a exportované seznamy souřadnic.

5.2 Microstation PowerDraft V8i

Program Microstation je hlavním produktem společnosti Bentley. Tento CAD systém slouží k návrhům kresby, nebo modelů v odvětví architektury, stavebního inženýrství, inženýrských sítí, apod. Dlouhá léta patří v České republice tento úspěšný program k nejpoužívanějším geodetickým kreslicím programům. Jeho velkou výhodou je komplexnost řešení uživatelských požadavků a podpora velké řady pracovních postupů. [17]

Nativním výstupním formátem programu Microstation je .dgn, ale současně umožňuje import i export celé řady formátů 2D i 3D projektů. Pro usnadnění importu souřadnic bodů do kresby bylo použito komunikační propojení Microstationu s výpočetním softwarem Groma.

5.3 Určení souřadnic bodového pole

Souřadnice bodového pole byly určeny ve výpočetním softwaru Groma metodou vyrovnání zprostředkujících veličin jako vázaná síť. Před výpočtem bylo v programu Groma zpracováno měření v plošné síti z měření ve dvou polohách, opakovaná měření

a obousměrně měřené délky. Sít' byla fixována na trigonometrický bod č. 31 a jeho zajišťovací body ležící v centru sítě. Dále byly za pevné prohlášeny souřadnice vzdálených trigonometrických a zhušťovacích bodů v okolí, na které bylo provedeno úhlové měření. Souřadnice již dříve existujících pomocných bodů byly použity jako přibližné, u nově zbudovaných pomocných bodů byly přibližné souřadnice dopočítány metodou rajonu a polygonového pořadu.

Před vyrovnáním souřadnic MNČ bylo nutné vhodně zvolit apriorní charakteristiky přesnosti měřených veličin vycházejících z přesností udávané výrobcem použité totální stanice Topcon GPT 3003N. Pro polohové vyrovnání bylo pro střední chybu délky a měřeného směru uvažováno ovlivnění chybami v excentricitě stroje i cíle. Chyba centrace totální stanice na měřickém bodě byla zvolena 0,5 mm a chyba v centraci cíle 2 mm. Zvolené chyby ovlivnily přesnost měřených délek, ale především také směrů. Jejich přesnost byla individuálně vypočtena úměrně délce záměry. Tím bylo dosaženo reálnějšího výsledku, protože vzdálené orientace tím získaly mnohem lepší směrovou přesnost, než orientace blízké. Pro délky záměr kratší než 10 m byl vysloven předpoklad dobré viditelnosti samotné stabilizace měřického bodu a proto u těchto záměr nebyla uvažována chyba z centrace cíle.

$$m_r^2 = \frac{m_{e_A}^2}{s^2} + \frac{m_{e_P}^2}{s^2} \quad [18] \quad (3.1)$$

Pro vyrovnání výškového měření, které bylo provedeno trigonometricky, bylo nutné určit střední jednotkovou chybu použité metody. Ta byla určena pomocí vzorce

$$m_h^2 = m_s^2 \cos^2 z + (s'^2 \cdot \sin^2 z) \cdot m_z^2 + m_i^2 + m_v^2 \quad [18] \quad (3.1)$$

Přesnost určení výšky přístroje a cíle byla, vzhledem k měření svinovacím metrem, zvolena 0,5 cm.

Pro dosažení dobrých výsledků vyrovnání byly vyloučeny příliš odlehlé hodnoty, na které poukazovaly vysoké opravy. Díky velkému počtu nadbytečných měření bylo dosaženo reálných hodnot souřadnic dobré přesnosti, což dokazuje i splnění intervalu spolehlivosti pro poměr apriorní a aposteriorní střední chyby. Vyrovnáním sítě bylo dosaženo průměrné střední souřadnicové chyby $m_{x,y} = 4,0$ mm a průměrné střední chyby vyrovnaných výšek $m_z = 3,0$ mm. Polohové souřadnice byly vypočteny v souřadnicovém

systému S-JTSK, výšky bodů jsou určeny ve výškovém systému Bpv. Polohové i výškové souřadnice bodů jsou uváděny v metrech, pro zachování vyšší přesnosti kvalitně určené sítě, jsou zaokrouhleny na tři desetinná místa.

Číslo bodu	Y [m]	X [m]	$m_{x,y}$ [mm]	Z [m]	m_z [mm]	Popis
60000004003	664592,362	1007732,257	2,7	614,005	2,2	roxor
60000004004	664599,332	1007699,260	2,0	636,211	1,4	nástř. hřeb
60000004005	664577,853	1007692,596	5,3	630,121	3,9	nástř. hřeb
60000005003	664585,061	1007698,846	2,8	635,693	1,4	nástř. hřeb
60000005005	664565,320	1007702,157	7,8	630,489	3,9	roxor
60000005006	664570,201	1007671,713	3,6	624,287	2,9	nástř. hřeb
60000005007	664561,373	1007674,244	4,0	624,011	2,8	nástř. hřeb
60000005008	664593,565	1007679,610	2,9	626,906	2,3	nástř. hřeb
60000005009	664611,329	1007705,246	2,5	625,667	1,9	nástř. hřeb
60000005010	664594,891	1007721,073	2,9	625,319	2,1	nástř. hřeb
60000005011	664549,690	1007700,370	4,7	623,199	3,2	nástř. hřeb
60000005012	664594,002	1007732,615	2,6	614,800	2,2	nástř. hřeb
60000005013	664630,121	1007719,917	3,0	608,721	2,3	nástř. hřeb
60000006001	664567,025	1007701,634	3,8	637,325	2,2	barva-zanikl
60000006002	664586,462	1007699,173	2,9	635,387	1,4	nástř. hřeb
60000006003	664566,203	1007701,032	7,1	629,921	3,9	roxor
60000006004	664589,118	1007719,194	2,5	624,736	2,1	dř. kolík
60000006005	664602,164	1007714,109	2,2	624,578	1,8	dř. kolík
60000006006	664610,301	1007698,131	3,1	624,401	2,3	dř. kolík
60000006007	664580,192	1007678,386	3,0	627,191	2,4	dř. kolík
60000006008	664574,330	1007667,729	3,6	624,212	2,9	barva-zanikl
60000006009	664552,098	1007695,563	4,7	622,381	3,2	dř. kolík
60000006010	664567,943	1007720,198	3,5	618,546	2,7	dř. kolík
60000006011	664616,252	1007727,775	2,4	610,217	1,9	dř. kolík
60000006012	664627,902	1007703,744	2,5	614,002	2,6	dř. kolík
60000006013	664640,066	1007715,709	2,6	606,316	2,2	dř. kolík
60000006014	664662,992	1007683,804	3,6	598,677	3,8	dř. kolík
60000006015	664660,272	1007650,014	4,7	593,308	4,1	dř. kolík
60000006016	664634,769	1007689,826	2,8	614,588	2,4	dř. kolík-zanikl
60000006017	664616,717	1007668,698	3,1	615,672	2,6	dř. kolík
60000006018	664599,810	1007654,361	3,4	614,145	2,7	dř. kolík
60000006019	664572,378	1007646,542	4,7	612,204	3,6	nástř.hřeb
60000006020	664539,160	1007662,717	6,2	611,145	5,0	dř. kolík
60000006021	664528,690	1007696,058	5,8	611,374	4,8	nástř.hřeb
60000006022	664526,930	1007720,167	5,7	608,411	3,8	dř. kolík
60000006023	664566,507	1007737,963	4,2	608,654	3,7	dř. kolík
60000006024	664599,084	1007736,636	2,7	611,930	2,3	dř. kolík
60000006025	664630,000	1007734,721	4,5	602,447	4,0	dř. kolík
60000006026	664604,662	1007744,090	3,8	604,200	4,7	dř. kolík

Tab.5.1: Tabulka souřadnic nově určených pomocných bodů a jejich charakteristik přesnosti

5.4 Určení souřadnic podrobných bodů

Souřadnice podrobných bodů slouží jako vlíčovací body pro spojování 3D modelů, jako kontrolní body pro ověření přesnosti výsledného modelu, nebo pro modelaci fotogrammetricky nepostižitelných míst. Souřadnice všech 3484 bodů byly vypočteny v programu Groma polární metodou dávkou na základě geodetického měření a vyrovnaných souřadnic bodů sítě. Na všech stanoviscích byla dodržena mezní hodnota úhlové odchylky v orientaci 0,08 gon [15]. Výsledné polohové souřadnice podrobných bodů byly vypočteny v souřadnicovém systému S-JTSK. Jejich hodnota je určena v metrech a zaokrouhlena na tři desetinná místa. Výšky bodů jsou vypočteny ve výškovém systému Bpv, určeny v metrech a zaokrouhleny rovněž na tři desetinná místa.

5.5 Dokumentace bodového pole

Pro zdokumentování dat o použitých pomocných bodech a informace o jejich poloze, byly vyhotoveny geodetické údaje o jednotlivých pomocných bodech. Geodetické údaje všech bodů byly vytvořeny v elektronické formě v programu Microstation. Pro přechodné, nebo zaniklé body nebyly geodetické údaje vyhotoveny.

Geodetické údaje obsahují lokalizační údaje o obci a katastrálním území. Dále obsahují označení mapového listu státní mapy odvozené v měřítku 1:5000, číslo bodu, jeho souřadnice v S-JTSK, výšku v systému Bpv, místopisný náčrt orientovaný k severu opatřený oměrnými mírami, údaje o zřízení bodu, popis, způsob stabilizace a jeho určení. [19]

Grafické vyznačení polohy bodů sítě a vztahů mezi nimi bylo znázorněno v přehledném náčrtu bodového pole. Tento náčrt byl vyhotoven v CAD programu Microstation. Do zjednodušeného polohopisu hradu, odvozeného z výsledného modelu, byla zakreslena síť použitých bodů základního polohového pole a pomocných bodů. Stávající bodové pole bylo vyvedeno v černé barvě, nově určované body pak v červené. Mezi jednotlivými body bylo vyznačeno provedené měření. Rozdílnou grafickou úpravou bylo rozlišováno jednosměrné, nebo obousměrné měření úhlů, či délek. Úroveň podzemního podlaží (sklepení hradu), bylo zakresleno pro přehlednost zvlášť do detailu.

6. TVORBA A VYHODNOCENÍ 3D MODELU

6.1 Použitý hardware

Při testovacích pracích byla zjištěna velká hardwarová náročnost zpracování 3D modelů. Vzhledem k vysoké hustotě trojúhelníkové sítě modelů, a především náročnosti objemných souborů textur bylo pro dokončení cíle projektu potřeba pořídit adekvátní hardwarové vybavení.

Pro dosažení dobrého výkonu byl koncipován nový PC jako „stolní počítač“, jehož parametry jsou přizpůsobeny především potřebám programu Cinema 4D a finančním možnostem autora. Jedná se hlavně o požadavek na kvalitní více jádrový procesor, výkonnou grafickou kartu a dostatek operační paměti. Samozřejmostí pak je 64-bitový operační systém umožňující plné využití operační paměti.

Na základě těchto požadavků byla zakoupena počítačová sestava:

Základní deska: MSI Z77A-G43/ IntelZ77/ LGA1155/ DDR3 1600MHz/ ATX

Procesor: INTEL Core i7 3770 3,4GHz, 8MB, socket 1155, BOX

Operační paměť: RAM DDR3 16GB (4x4GB) 240pin PC12800 1600MHz (chip Kingmax)

Pevný disk: Seagate 1TB HDD Barracuda/ ST1000DM003/ SATA600/ 7200RPM/ 64MB

Grafická karta: EVGA GeForce GT640 /PCI-E/ 2GB GDDR3/ 2xDVI/ mini HDMI

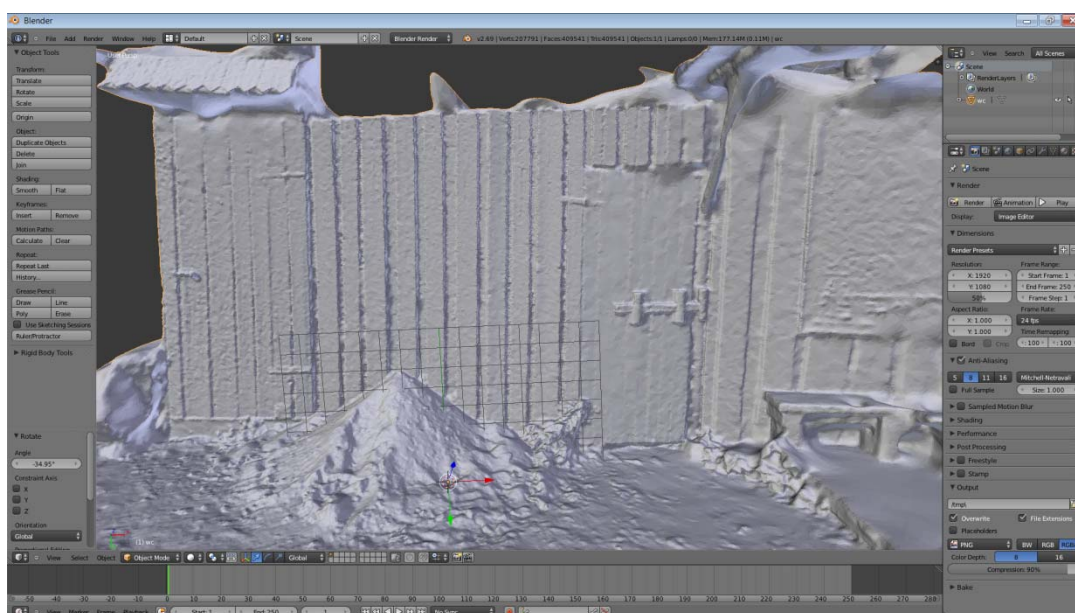
6.2 Tvorba dílčích 3D modelů

Série fotografií zachycujících určitou část celku byla před dalším použitím napřed upravena ve volně šiřitelném programu PhotoFiltre 6.5.2. Z důvodu urychlení uploadu snímků v následujícím kroku zpracování a kvůli minimalizaci výskytu chyb tohoto zpracování byla kvalita snímku hromadně snížena na 60% z původního 8 Mpx rozlišení.

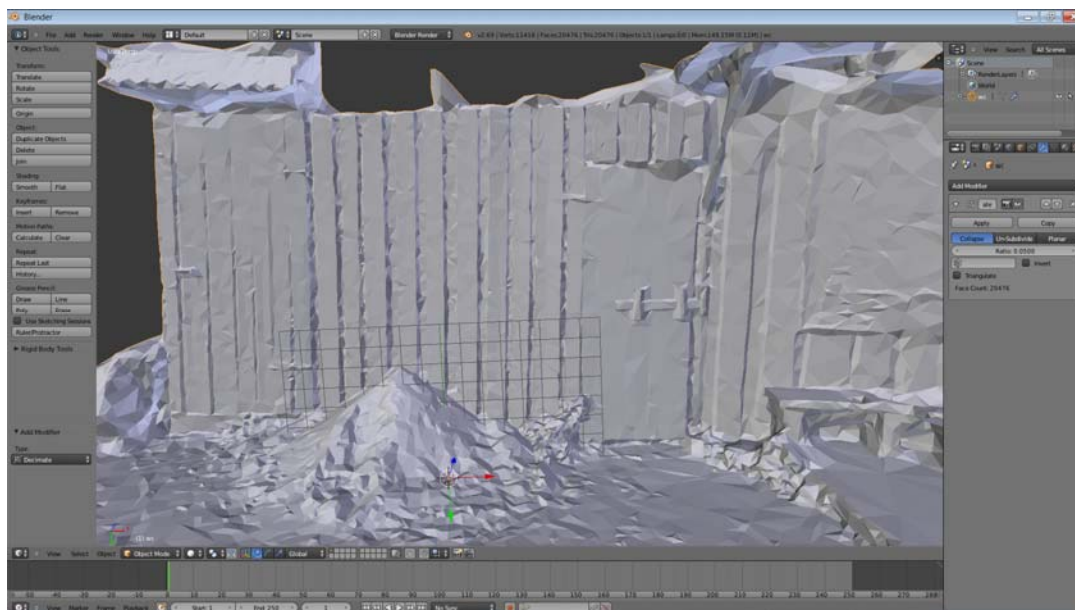
V další fázi byly v programu Autodesk 123D Catch vybrány snímky vhodné pro vytvoření modelu dané části hradu. Po zadání názvu a informacích o projektu byla zvolena možnost odeslání odkazu ke stažení na výsledný 3D model emailem. Tato možnost je rychlejší a efektivnější, než možnost nechat proběhnout výpočet modelu ihned, při kterém často dochází k zasekávání výpočtu. Po této volbě začne nahrávání snímků

na vzdálený server, kde probíhá výpočet modelu. Po dokončení nahrání je program automaticky ukončen a po provedení výpočtu je odeslán email s odkazem pro stáhnutí modelu ve formátu programu 123D Catch s příponou .3dp. Doba potřebná pro vytváření modelu je závislá na rychlosti připojení, velikosti a počtu snímků a na vytíženosti serveru. Stažený soubor modelu je před otevřením dobré umístit do složky se snímky objektu. Program by si jinak sám před načtením modelu stáhl snímky použité k výpočtu ze serveru. Snímky je možné v programu dále využívat např. pro identifikaci bodů, nebo připojování dalších snímků pro výpočet. Po důkladném zvážení vlastností, chyb a rozsahu spočítaného 3D modelu a jeho textur bylo často přistoupeno k přepočítání modelu. Opětovný výpočet většinou vedl ke zlepšení modelu, zvláště k vyšší kvalitě a ostrosti textur. Po schválení modelu vyhovující kvality byl proveden jeho export do formátu Wavefront s příponou .obj. Současně byl programem vygenerován i soubor .mtl obsahující informaci o texturách a textury samotné ve formátu .jpg.

Exportované modely byly následně importovány do programu Blender, kde byla pomocí modifikátoru polygonové redukce zředěna hustota nadbytečně kvalitní trojúhelníkové sítě při zachování UV souřadnic textur. Vzhledem k proměnlivé hustotě jednotlivých modelů způsobené rozdílnou vzdáleností pořizování snímků, počtu snímků, jejich kvality a dalších faktorů, je nutné i k její redukci přistupovat individuálně. Většinou však byla úroveň hustoty trojúhelníkové sítě modelu redukována na 2% - 20% původní hustoty.



Obr.6.1: Model před polygonovou redukcí v programu Blender.



Obr.6.2: Model po polygonové redukci v programu Blender.

Upravený model byl programem Blender opět exportován do formátu .obj. Tento formát prostorových dat vyvinutý firmou Wavefront technologies byl zvolen z důvodu jeho univerzálnosti [20]. Výhodou formátu Wavefront je kvalitní přenos 3D informace a snadná otevíratelnost v naprosté většině programů pracujících s 3D grafikou.

6.3 Tvorba celkového 3D modelu

Do programu Cinema 4D bylo naimportováno mračno naměřených vlíčovacích bodů uložených z programu Groma do formátu .csv v pořadí XYZ. Tyto body tvoří základ výsledného modelu hradu. Vzhledem k tomu, že program Cinema 4D vykazoval problémy se zobrazením ploch a bodů při práci se vzdáleným počátkem souřadnicového systému od objektu, tak bylo přistoupeno k použití místního souřadnicového systému. Orientace os souřadnicového systému byla zachována, ale jeho počátek byl přesunut do bodu č. 31 ve středu objektu. Do tohoto projektu byly přidávány 3D modely dílčích částí pro jejich přiřazení k celku. Tyto součásti byly do Cinema 4D převedeny jednoduchým otevřením souborů exportovaných z programu Blender po polygonové redukci. Před začleněním jednotlivých částí do celku je lepší provést hrubou úpravu modelu. Tato úprava spočívá především v odstranění zkreslených, nebo nekvalitních částí modelů. Zmiňovaná nekvalitní místa se vyskytují především na okrajích modelu. Tato místa vznikla

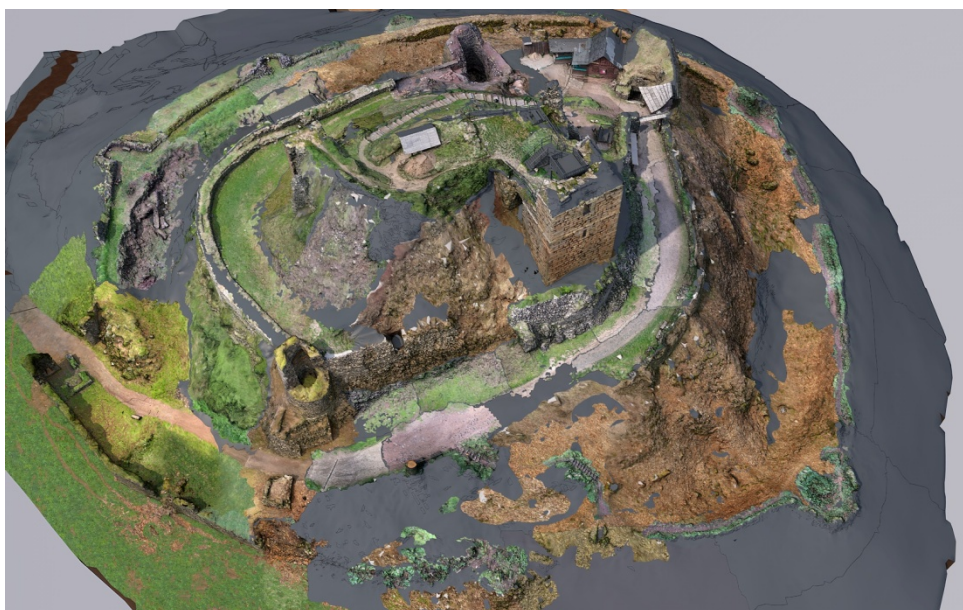
malým počtem snímků zachycujících danou oblast, nebo v místech kde byl programem vytvořen i nežádoucí model okolí. Z modelů byly odfiltrovány stromy, jejichž model nemohl být fotogrammetrickou metodou kvalitně vytvořen. Stromy by navíc v modelu působily spíše jako rušivý element zakrývající samotný hrad. Ponechány byly pouze zkrácené kmeny stromů ve výjimečných případech. Bylo tak učiněno v situacích, kdy je strom součástí nějaké konstrukce, stavby, nebo ho z nějakého jiného důvodu nebylo žádoucí odstranit.

Po vložení modelů do společného projektu bylo nutné pečlivě upravit pozici, natočení a měřítko tak, aby prostorová poloha bodů na modelu co nejpřesněji přiléhala na všechny odpovídající vlíčovací body připadající na danou oblast. Dalším krokem po umístění objektů bylo jejich napojení na sousední modely. Hranice mezi dvěma a více objekty byla oříznuta tak, aby na sebe obě části co nejpřesněji navazovaly a v překrývající se oblasti byla zachována vždy ta kvalitnější část. Následně bylo provedeno sloučení objektů v jeden celek. Oblasti spojů a míst, kdy vznikly trhliny, nebo vady ve struktuře trojúhelníkové sítě byly vyplněny a upraveny. Tím bylo dosaženo kontinuálního povrchu modelu. Před domodelováním bylo nutné ještě pohlídat stejnou orientaci normál. Finální úprava geometrie povrchu modelů byla provedena v módu nazvaném Sculpting. Tento mód obsahující sadu pokročilých modelovacích nástrojů byl použit pro dosažení přirozeného a kontinuálního povrchu i v upravovaných oblastech.

Tak jako byla upravována geometrie modelů v místě napojení a korekcí modelů, tak musela být v těchto místech upravena i textura. Z důvodu rozdílných světelných podmínek, nebo dokonce rozdílného ročního období při pořizování snímků byla navíc znatelná rozdílná barevnost textur jednotlivých částí. Před úpravou textur bylo potřeba odstranit dvě komplikace. Nově vytvořený povrch, který zacelil mezery v trojúhelníkové síti neměl přiřazený žádný materiál a tudíž na nich nešlo upravovat texturu. Dále pak byl problém s velkým počtem textur, protože každý vytvořený model byl pokryt dvěma a více texturami, podle velikosti objektu a kvality textury. Oba výše zmíněné problémy byly vyřešeny použitím funkce „Upéct objekt“. Tato funkce pro vybranou oblast vytvoří jednotný materiál, který zachová umístění původních textur, ale „zapeče“ je do jedné společné textury. Nově vytvořenými texturami ve formátu .jpg byly přetexturovány všechny objekty tak, aby pokrývaly každé místo povrchu modelu. Velikost textur byla volena s ohledem na rozsah oblasti a kvalitu původních textur. Soubory textur tvoří čtverce o velikosti stran 4096 pixelů – 16 384 pixelů.

Grafická úprava textur probíhala v rozhraní BP 3D paint, který umožňuje úpravu textur interaktivně přímo na objektu. Paleta šikovných nástrojů, připomínající programy specializované na úpravy fotografií a obrázků, umožnila zaretušovat potřebná místa na texturách. Rozdílné světelné podmínky byly vyrovnány především pomocí filtrů upravujících jas, kontrast, sytost, apod.

Oblasti, které nemohly být postihnuty fotogrammetricky vytvořenými modely, byly domodelovány. Základem jejich textur byly vhodně upravené digitální snímky.



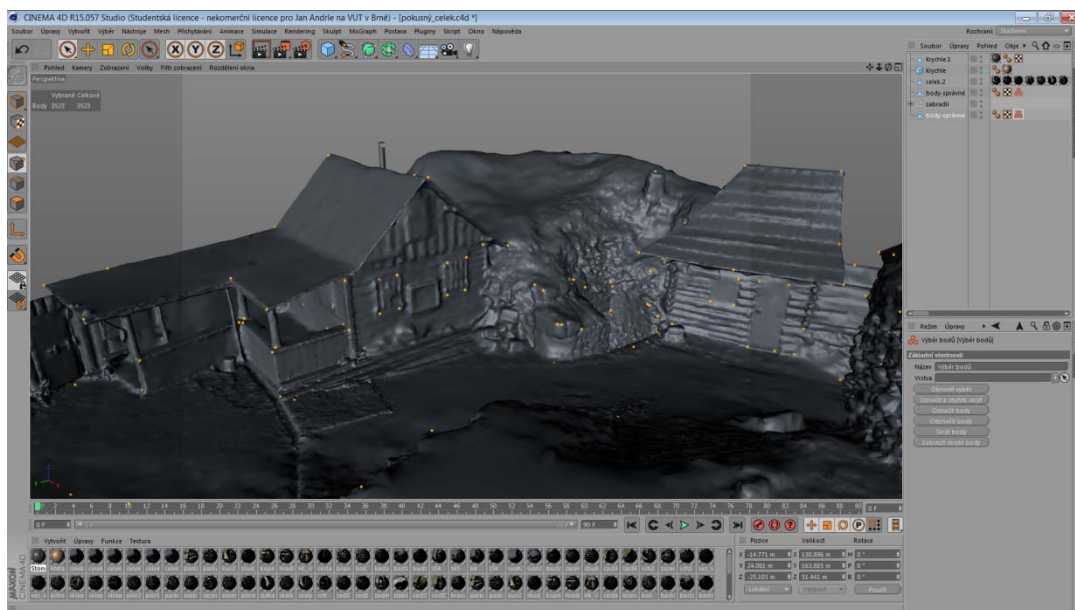
Obr.6.3: Stav textur před úpravou.



Obr.6.4: Stav textur po úpravě.

6.4 Testování přesnosti výsledného modelu

Přesnost prostorové polohy výsledného modelu je vzhledem k jeho sestavení z více částí nehomogenní. Výsledná kvalita 3D modelu a jeho geometrická správnost se odvíjí především od vzdáleností, z kterých byly snímky pořizovány, míře přístupnosti, zastínění objektu a od světelných podmínek. Prostorové umístění modelu vůči souřadnicovému systému však závisí hlavně na pečlivosti při umisťování modelů na vlíčovací body a správném nastavení měřítka.



Obr.6.5: Zobrazené vlíčovací body modelu v programu Cinema 4D.

Pro testování dosažené přesnosti výsledného 3D modelu hradu bylo zvoleno testování přesnosti polohy a výšky podrobných bodů dle ČSN 01 3410. Tato norma pro základní a účelové mapy velkých měřítek porovnává souřadnice bodů s kontrolním měřením. Z důvodu neznámých geometrických i negeometrických faktorů nemohla být přesnost vyhodnocovaná standardním způsobem pro blízkou fotogrammetrii [8]. V případě 3D modelu hradu byly souřadnice bodů na modelu porovnávány se souřadnicemi kontrolních bodů určených geodetickým měřením. Testování přesnosti proběhlo v rámci zvolené třídy přesnosti, v tomto případě 2. třídy přesnosti, ve které je obvykle vyhotovována dokumentace nemovitých památek [21].

Kritéria 2. třídy přesnosti jsou dána hodnotou mezní střední souřadnicové chyby $u_{x,y} = 0,08$ m a mezní střední chyby ve výšce $u_H = 0,07$ m. Dosažená relativní přesnost

souřadnic byla testována zvlášť v polohové a zvlášť ve výškové složce. Za kontrolní body byl zvolen reprezentativní výběr jednoznačně identifikovatelných vřícovacích bodů rozmístěných po celém zobrazovaném území. [22]

Testování dosažené relativní přesnosti souřadnic x, y bodů modelu:

Nejdříve byly vypočteny rozdíly souřadnic podrobných bodů kontrolovaných a kontrolních bodů podle vzorců:

$$\Delta x = x_m - x_k \quad (6.1)$$

$$\Delta y = y_m - y_k \quad (6.2)$$

Následně bylo provedeno testování stanovené přesnosti prostřednictvím výběrové střední souřadnicové chyby.

$$s_{xy} = \sqrt{0,5(s_x^2 + s_y^2)} \quad (6.3)$$

Výběrová střední souřadnicová chyba byla určena kvadratickým průměrem ze středních chyb souřadnic

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{kN} \sum_{j=1}^N \Delta x_j^2} \quad (6.4)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{kN} \sum_{j=1}^N \Delta y_j^2} \quad (6.5)$$

, kde N ve vzorci je počet testovaných dvojic bodů a koeficient $k = 2$.

Přesnost zvolené třídy přesnosti byla dodržena, pokud byla splněna podmínka

$$|\Delta p| \leq 1,7u_{xy} \quad (6.6)$$

pro polohovou odchylku vypočtenou podle vzorce

$$\Delta p = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (6.7)$$

a pokud výběrová střední souřadnicová chyba splňuje kritérium

$$s_{xy} \leq \omega_{2N} u_{xy} \quad (6.8)$$

, kde koeficient ω_{2N} má při volbě hladiny významnosti $\alpha = 5\%$ hodnotu 1,1 pro výběr N od 100 do 300 bodů. [22]

Testování dosažené relativní přesnosti určení výšek bodů modelu:

Rozdíly výšek kontrolovaných a kontrolních bodů byly vypočteny podle vzorce

$$\Delta H = H_m - H_k \quad (6.9)$$

Testování dosažené přesnosti bylo provedeno prostřednictvím výběrové střední výškové chyby

$$s_H = \sqrt{\frac{1}{kN} \sum_{j=1}^N \Delta H_j^2} \quad (6.10)$$

, kde koeficient $k = 2$ a N je počet testovaných dvojic bodů.

Přesnost zvolené třídy přesnosti byla dodržena, pokud byly splněny podmínky

$$|\Delta H| \leq 2u_H \sqrt{k} \quad (6.11)$$

$$s_H \leq \omega_N u_H \quad (6.12)$$

, kde koeficient ω_{2N} má při volbě hladiny významnosti $\alpha = 5\%$ hodnotu 1,1 pro výběr o počtu dvojic bodů N od 80 do 500. [22]

testování přesnosti souřadnic x, y			
podmínka	počet bodů	splnilo	nesplnilo
$ \Delta p \leq 1,7u_{xy}$	260	254	6
$s_{xy} \leq \omega_{2N}u_{xy}$	podmínka splněna		
testování přesnosti výšek			
$ \Delta H \leq 2u_H\sqrt{k}$	260	260	0
$s_H \leq \omega_Nu_H$	podmínka splněna		

Tab.6.1: Shrnutí výsledků testování přesnosti modelu

V provedeném testování souřadnicových rozdílů x, y a výškových rozdílů h splnila kritéria 2. třídy přesnosti 254 bodů z 260 testovaných bodů. Tím bylo prokázáno, že přesnost vytvořeného 3D modelu splňuje parametry 2. třídy přesnosti. Ze souřadnicových rozdílů testovaného souboru byla vypočtena výběrová střední souřadnicová chyba $s_{x,y} = 24,8$ mm a výběrová střední chyba výšek $s_H = 24,0$ mm.

7. HLAVNÍ VÝSTUPY PRÁCE

Hlavním výstupem této práce je kompletní 3D model zříceniny hradu Kumburk a jeho nejbližšího okolí. Model vyhotovený v programu Cinema 4D tvoří jednolitý celek pokrytý na celém svém povrchu realistickými texturami. Rozměry modelu odpovídají skutečnosti. Jeho poloha v prostoru je umístěna v místním souřadnicovém systému. Výsledný 3D model byl sestaven z asi 150 částí a je tvořen 1 798 291 body a 3 559 612 plochami.



Obr.7.1: Fotografie jádra hradu Kumburk.



Obr.7.2: Renderovaný obrázek 3D modelu v programu Cinema 4D.

Pro zpřístupnění modelu co nejvíce uživatelům byl výsledný model exportován do nejběžnějších 3D formátů standardně podporovaných většinou běžných softwarů pracujících v 3D prostoru. Navíc byl model převeden i do formátů dostupných běžnému počítačovému uživateli nevlastnící specializované komerční softwary. Vzhledem k elektronickému charakteru těchto výstupů a jejich datové objemnosti, je z kapacitních důvodů Příloha č. 7 Digitální 3D model hradu a Příloha č. 8 Textury 3D modelu zveřejněna pouze na přiloženém DVD nosiči a není nahrána v univerzitní databázi.

7.1 Formát .c4d

Tento formát je nativním formátem programu Cinema 4D. V tomto programu lze model interaktivně prohlížet, měřit jeho rozměry, nebo v bodech na jeho povrchu odečítat souřadnice. Kromě dalších úprav a rozšiřování modelu lze v programu vytvářet různé animace, průlety, nebo se modelem projít virtuální procházkou. Silnou stránkou programu je kvalitní render umožňující vznik realistických obrázků a videí. Model lze prohlížet a pracovat s ním např. v bezplatné demo verzi. Omezení demo verze spočívá především v nemožnosti ukládání dat. [10]

7.2 Formát .obj

Jeden z nejrozšířenějších formátů uchovávající 3D informace. Lze jej otevřít, nebo importovat v naprosté většině programů pracujících s daty v 3D prostoru. Informace o přiřazení a barevných vlastnostech textur uchovává v externím textovém souboru s příponou .mtl. Textury nejsou součástí souboru, ale jsou připojeny jako externí obrázky. Model v tomto formátu lze pohodlně prohlížet např. v programu Meshlab, což je program vyvíjený od roku 2005 studenty informatiky na Universitě v Pise. Tento volně šiřitelný program je skvělý nástroj pro prohlížení a editaci nestrukturovaných 3D modelů. Jednou z jeho výhod je import a export velké škály grafických formátů. [23]

7.3 Formát .3ds

Poměrně rozšířený formát trojrozměrných modelů vyvinutý firmou Autodesk. Je používán ve světově velmi rozšířeném programu Autodesk 3DS Max, který kromě modelování, renderování, nebo animací slouží např. k tvorbě počítačových her a filmů. [24]

7.4 Formát .dxf

Jedním z hlavních formátů CAD programů je .dxf, tedy vektorový grafický formát, který vyvinula firma Autodesk. Tento formát je schopný uchovávat 2D i 3D informace a scény. Tento formát je možno importovat do většiny programů pracujících s 3D grafikou. [25]

7.5 Formát .pdf

Formát snadno přístupný běžnému počítačovému uživateli je formát .pdf. Tento formát 3D modelu lze pohodlně prohlížet v zdarma šiřitelném prohlížeči Adobe reader verze 7 a vyšší. V programu lze model interaktivně prohlížet, nebo měřit jeho rozměry. Velmi efektivním 3D nástrojem programu Adobe Reader je vytváření řezů modelem. Navíc je v programu možno k určitým částem modelu přiřazovat prostorové poznámky. [26]

Do formátu .pdf byl model převeden pomocí zkušební verze programu SimLab 3DPDF 2014. Vzhledem k rozsahu a podrobnosti modelu, byl model ve formátu .pdf vytvořen bez textur.

7.6 Sketchfab

Sketchfab.com je webový server umožňující nahrání a sdílení malých 3D modelů. Na tento server byla umístěna značně generalizovaná forma 3D modelu hradu Kumburk. Prostřednictvím vygenerovaného internetového odkazu je umožněno prakticky všem

vlastníkům počítače s internetovým připojením model interaktivně prohlížet. Tento zjednodušený model je přístupný na internetové adrese: <https://skfb.ly/AnUu>

7.7 Renderované obrázky a videa

V programu Cinema 4D byly vytvořeny scény, ze kterých byly interním systémem programu vyrenderovány kvalitní obrazové výstupy. Pro dosažení realistického vzhledu a dobrého prostorového vjemu bylo při renderování scén použito fyzikální simulace oblohy, osvětlení a efektů ambient occlusion a globální iluminace. Při tvorbě průletových videí byly nastaveny polohy kamery v klíčových snímcích, čímž bylo dosaženo animovaného pohybu. Renderováním pohledu kamery v jednotlivých fázích jejího pohybu vznikly obrázky, jejichž spojením vznikl plynulý pohyb ve formě videa.

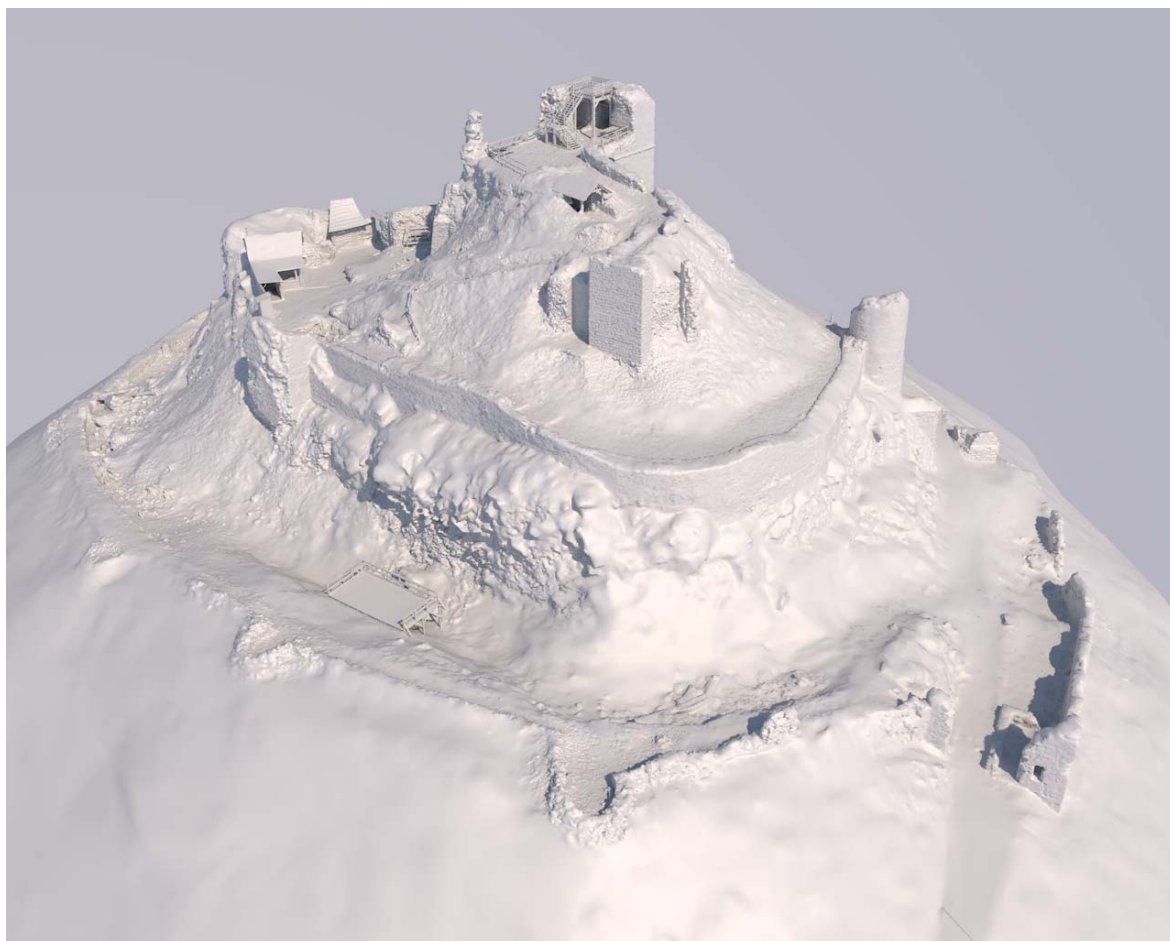
8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit 3D model zříceniny hradu Kumburk, za využití běžně dostupného geodetického vybavení a neplacených softwarů. Na základě popsaných postupů byl úspěšně vytvořen komplexní 3D model zachycující a dokumentující současný stav při minimální generalizaci. Toho bylo dosaženo bez použití drahého přístrojového vybavení typu 3D scanner, nebo UAV a komerčních softwarů. Tvarová a rozměrová kvalita modelu byla ověřena geodetickým kontrolním měřením. Dosažená přesnost vyhotoveného modelu dle mého názoru splňuje požadavky na přesnost u tak členitého a často nejednoznačného objektu, jakým je zřícenina hradu. Současně byla dodržena snaha o prezentaci výsledků v takové formě, aby byly přístupné co nejširší veřejnosti. Výstupy proto byly vyhotoveny v co nejběžnějších formátech, renderované obrázky modelu ve formátu .jpg a renderovaná videa ve formátu .avi. 3D model samotný byl převeden do formátu .pdf a nahrán na webový server, aby je byl schopný otevřít a prohlížet i běžný počítačový uživatel. Grafické výsledky této práce budou předány Sdružení pro záchranu hradu Kumburk. Jeho prostřednictvím bude dále sloužit jako dokumentace skutečného stavu objektu a jako podklad pro udržovací a stabilizační práce. Výstupy práce by mohly v budoucnu být zpřístupněny veřejnosti např. na internetových stránkách sdružení, kde by mohli i tělesně hendikepovaní občané absolvovat virtuální prohlídku hradu bez nutnosti výstupu na těžko přístupnou zříceninu. Kromě grafických výstupů bylo sdružení předáno vybudované bodové pole a informace o něm. Body budou dále sloužit při dokumentačních a výzkumných pracích na hradě.

Touto prací byla úspěšně dokázána schopnost použité technologie tvorby 3D modelu vytvořit rozsáhlý, podrobný model dobré přesnosti i v případě členitého, rozsáhlého a špatně přístupného objektu. Z tvorby modelu však vyplynuly i její nevýhody a to především v časové náročnosti pořizování dat a jeho zpracování. Výhodou daného postupu jsou pak nižší pořizovací náklady na přístrojové vybavení a software. Obecně lze říci, že v určitých případech může použitá metoda plnohodnotně zastoupit jiné finančně náročnější postupy tvorby podrobných 3D modelů, ale je vhodnější spíše pro menší a přístupnější objekty.

Touto prací bych rád upozornil na velký rozvoj 3D technologií, který neustále zpřesňuje a zjednodušuje proces vytváření 3D modelů a zpřístupňuje ho stále širší veřejnosti. Děje se tak díky rostoucí kvalitě běžných fotoaparátů, osobních počítačů

a hlavně díky vzniku a rozvoji jednoduchých nekomerčních softwarů. Jedním z těchto softwarů je Autodesk 123D Catch. Tomuto trendu odpovídá současný rozmach digitalizace, kdy jsou vytvářeny digitální modely terénu, 3D modely objektů, nebo dokonce celých měst a oblastí. Výhody takových 3D modelů a jejich široká škála využití jistě povede k jejich dalšímu vývoji a rozmachu. Věřím proto, že budoucí vývoj dospěje k prostorové digitalizaci celých krajin a států.



Obr.8.1: Pohled na celkový model bez textur.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ:

- [1] Oficiální stránky zříceniny hradu Kumburk. [online]. [cit. 2013-06-26]. Dostupné z: <http://www.kumburk.cz/>
- [2] DURDÍK, Tomáš. *Encyklopedie českých hradů*. 4. vyd. Praha: Libri, 1999, 365 s. ISBN 80-859-8396-6.
- [3] PROSTŘEDNÍK, Jan a Tomáš ŠIMŮNEK. *Novopacko: hrad Kumburk*. 2. vyd. Nová Paka: Město Nová Paka, c2010, 119 s. ISBN 978-80-260-1717-2.
- [4] Turistický portál Do háje: Hrad Kumburk. [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.dohaje.cz/stezky/18/268>
- [5] Webové stránky firmy Autodesk o sérii 3D aplikací 123D. [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/123d>
- [6] Návod na úspěšné vytvoření 3D modelů v aplikaci 123D Catch. [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.123dapp.com/howto/catch>
- [7] BOHÁČ, Ondřej. *123D Catch - Testování nástroje pro tvorbu detailních 3D modelů*. Praha, 2012. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
- [8] HANZL, Vlastimil. *Fotogrammetrie: Teoretické základy fotogrammetrie*. Brno: CERM, 2006, 94 s.
- [9] Oficiální stránky programu Blender. [online]. [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: <http://www.blender.org/>
- [10] Oficiální stránky programu Cinema 4d pro Českou Republiku. [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.cinema4d.cz/>
- [11] SPANKI. Webová stránka pluginů pro Cinema 4D. [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://skinprops.com/riptide.php>
- [12] Webový portál obsahující údaje o geodetických základech spravovaný ČUZK. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://dataz.cuzk.cz/>
- [13] Webové stránky firmy Geometra distribuující výrobky firmy Topcon pro ČR: Technické údaje o totálních stanicích řady GPT-3000(L)N. [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: http://www.geometra-opava.com/obchod/html/totalky_gpt3000.htm

- [14] Webové stránky o fotografování a fotografických přístrojích.: Recenze digitálního fotoaparátu CANON PowerShot A720 iS. [online]. [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://www.fotoaparát.cz/article/10568/1>
- [15] NÁVOD PRO OBNOVU KATASTRÁLNÍHO OPERÁTU A PŘEVOD: č.j. ČÚZK 6530/2007-22. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2007.
- [16] Officiální webové stránky geodetického výpočetního softwaru Groma. [online]. [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://groma.cz/cz/>
- [17] *Webobé stránky firmy Gisoft distribuující produkty firmy Bentley do České republiky.* [online]. [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.gissoft.cz/MicroStation/MicroStation>
- [18] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, VITULA, Alexej, BUREŠ, Jiří. *Inženýrská geodézie I: M01 - Základy inženýrské geodézie.* Brno: Vysoké učení technické, 2006, 102 s.
- [19] *Vyhláška č. 31/1995 sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, jak vyplývá ze změn provedených vyhláškou č. 212/1995 Sb. a č. 365/2001 Sb.* Praha: ČÚZK
- [20] Officiální stránky firmy Wavefront technologies zabývající se telekomunikačními a informačními technologiemi. [online]. [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.wvfront.com/>
- [21] FIŠER, Zdeněk a Jiří VONDRÁK. *Mapování.* Vyd. 2., V Akademickém nakl. CERM 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 146 s. ISBN 80-720-4472-9.
- [22] ČSN 01 3410. *MAPY VELKÝCH MĚŘÍTEK: Základní a účelové mapy.* Praha 10-Hostivař: VYDAVATELSTVÍ NOREM, 1990.
- [23] Officiální webové stránky programu MeshLab. [online]. [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://meshlab.sourceforge.net/>
- [24] Officiální stránky firmy Autodesk pro Českou Republiku. [online]. [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/products/autodesk-3ds-max/overview>
- [25] PAVEL, Tišnovský. Internetový IT magazín Root: Vektorový grafický formát DXF. [online]. [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/vektorovy-graficky-format-dxf/>
- [26] Officiální stránky firmy Adobe. [online]. [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.adobe.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

2D - dvou dimenzionální prostor

3D - tří dimenzionální prostor

VUT - Vysoké učení technické

KČST - Klub československých turistů

KNV - Krajský národní výbor

PC - osobní počítač (personal computer)

ČÚZK - Český úřad zeměměřický a katastrální

MS - Microsoft

CAD - počítačem podporované projektování (computer aided design)

MNČ - Metoda nejmenších čtverců

S-JTSK - Systém jednotné sítě katastrální

Bpv - Balt po vyrovnání

ČSN - česká státní norma

UAV - bezpilotní letoun (unmanned aerial vehicle)

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ:

Obr.1.1: Pohled na jádro hradu Kumburk. [1]	10
Obr.2.1: Vyznačení polohy zříceniny hradu na slepé mapě ČR.....	12
Obr.2.2: Opravy hradu KČST v roce 1940. [1]	13
Obr.2.3: Možná podoba hradu po roce 1370 podle Tomáše Šimůnka. [1].....	14
Obr.2.4: Hmotová rekonstrukce hradu v jeho vrcholné podobě v 15. století. [4]	14
Obr.3.1: Pracovní prostředí programu Autodesk 123D Catch.....	17
Obr.3.2: Ukázka uživatelského prostředí programu Cinema 4D.....	19
Obr.3.3: Historická fotografie z roku 1939 s ještě existující signalizací trig. bodu č. 31. [1]	21
Obr.4.1: Digitální fotoaparát CANON PowerShot A720 iS. [14].....	24
Obr.4.2: Geodetické měření na zbytcích jedné z hradních věží.	25
Obr.6.1: Model před polygonovou redukcí v programu Blender.	33
Obr.6.2: Model po polygonové redukcí v programu Blender.....	34
Obr.6.3: Stav textur před úpravou.	36
Obr.6.4: Stav textur po úpravě.....	36
Obr.6.5: Zobrazené vlíčovací body modelu v programu Cinema 4D.....	37
Obr.7.1: Fotografie jádra hradu Kumburk.	40
Obr.7.2: Renderovaný obrázek 3D modelu v programu Cinema 4D.	40
Obr.8.1: Pohled na celkový model bez textur.....	45

Poznámka: Autorem obrazové dokumentace bez udaného zdroje je autor textu.

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK:

Tab.5.1: Tabulka souřadnic nově určených pomocných bodů a jejich charakteristik přesnosti.....	30
Tab.6.1: Shrnutí výsledků testování přesnosti modelu	39

SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha č. 1: Zápisník měření

1.1 Elektronický zápisník měření

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

Příloha č. 2: Protokoly o výpočtech

2.1 Protokol o zpracování měření před výpočty

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

2.2 Protokol o výpočtu přibližných souřadnic

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

2.3 Protokol o vyrovnání sítě

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

2.4 Protokol o výpočtu souřadnic podrobných bodů

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

Příloha č. 3: Seznamy souřadnic

3.1 Seznam souřadnic bodového pole

(kompletní papírová a elektronická podoba)

3.2 Seznam souřadnic podrobných bodů

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

Příloha č. 4: Geodetické údaje pomocných bodů

4.1 Geodetické údaje pomocných bodů

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

Příloha č. 5: Přehledný náčrt bodového pole

5.1 Přehledný náčrt bodového pole

(kompletní papírová a elektronická podoba)

Příloha č. 6: Testování přesnosti

6.1 Testování přesnosti souřadnic x, y

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

6.2 Testování přesnosti výšek

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

Příloha č. 7: Digitální 3D model hradu

7.1 Hrad Kumburk.c4d

(kompletní elektronická podoba na DVD)

7.2 Hrad Kumburk.obj

(kompletní elektronická podoba na DVD)

7.3 Hrad Kumburk.3ds

(kompletní elektronická podoba na DVD)

7.4 Hrad Kumburk.dxf

(kompletní elektronická podoba na DVD)

7.5 Hrad Kumburk.pdf

(kompletní elektronická podoba na DVD)

Příloha č. 8: Textury 3D modelu

8.1 Textury 3D modelu

(kompletní elektronická podoba na DVD)

Příloha č. 9: Grafické zobrazení modelu

9.1 Renderované obrázky

(papírová ukázka a kompletní elektronická podoba)

9.2 Renderované video

(kompletní elektronická podoba)